

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-058981

(43)Date of publication of application : 25.02.2000

(51)Int.Cl.

H01S 5/30  
H01L 21/205  
H01L 33/00

(21)Application number : 10-228912

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 13.08.1998

(72)Inventor : NIDOU MASAOKI  
KIMURA AKITAKA

## (54) GALLIUM NITRIDE BASED SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT AND FABRICATION THEREOF

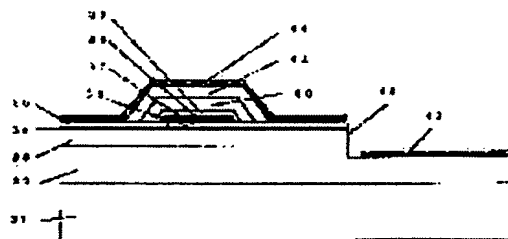
### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To realize current constriction ideal for active layer by an arrangement wherein three semiconductor layers constitute at least a part of double heterostructure and the light emitting direction is aligned with the stripe direction of an opening.

**SOLUTION:** After forming an n-type GaN contact layer 32, an n-type Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N clad layer 33 and an n-type GaN optical guide layer 34 sequentially on a sapphire substrate 31, an SiO<sub>2</sub> mask 35 having a stripe-like opening in the crystal direction is formed.

Subsequently, an n-type GaN optical guide layer 37 is grown selectively in the opening 36 of the SiO<sub>2</sub> mask 35 followed by growth of a multiple quantum well structure active layer 38, a p-type GaN optical guide layer 39, a p-type clad layer 40, and a p-type GaN contact layer 41.

When an opening is made subsequently in the n-type layer using the SiO<sub>2</sub> mask 35 and an active layer and a p-type layer are formed on the periphery of the opening 36 by selective growth, current constriction for the active layer 38 can be performed in the SiO<sub>2</sub> mask 35.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 13.08.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3206555

[Date of registration] 06.07.2001

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-58981

(P 2 0 0 0 - 5 8 9 8 1 A)

(43) 公開日 平成12年2月25日 (2000. 2. 25)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード (参考)

H01S 5/30

H01S 3/18

5F041

H01L 21/205

H01L 21/205

5F045

33/00

33/00

C 5F073

審査請求 有 請求項の数12 O L (全15頁)

(21) 出願番号

特願平10-228912

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(22) 出願日

平成10年8月13日 (1998. 8. 13)

(72) 発明者 仁道 正明

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 木村 明隆

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100082935

弁理士 京本 直樹 (外2名)

最終頁に続く

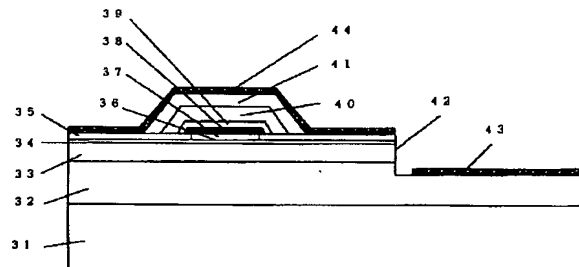
(54) 【発明の名称】窒化ガリウム系半導体発光素子及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 発振しきい値電流が小さく、基本横モード発振し、かつ抵抗が小さい窒化ガリウム系発光素子を簡単な製造工程で得られる構造を提供する。

【解決手段】 最表面層が第1導電型の第1の半導体層である基板結晶上に形成されたストライプ状の開口部を持つ絶縁体マスクと、マスクのストライプ状の開口部に選択的に形成された一般式  $In_p Al_q Ga_{1-p-q} N$

( $0 \leq p \leq 1$ ,  $0 \leq q \leq 1$ ,  $0 \leq p + q \leq 1$ ) で表される半導体層を含む活性層と、活性層上の一般式  $In_u Al_v Ga_{1-u-v} N$  ( $0 \leq u \leq 1$ ,  $0 \leq v \leq 1$ ,  $0 \leq u + v \leq 1$ ) で表される第2導電型半導体層を少なくとも1層含む第2の半導体層とを有する窒化ガリウム系発光素子において、第1の半導体層の結晶構造が六方晶であり、その表面が(0001)面または(0001)面となす角が10度以内である面であり、マスクのストライプ方向を第1の半導体層の[1-100]方向または[1-100]方向となす角が10度以内である方向に形成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】一般式  $In_xAl_{1-x}Ga_{1-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq x+y \leq 1$ ) で表される第1の半導体層と、前記第1の半導体層の上に形成され  $[1-100]$  方向または  $[1-100]$  方向となす角が10度以内である方向のストライプ状の開口部を持つ絶縁体電流狭窄層と、前記絶縁体電流狭窄層をマスクとして前記開口部と一部の絶縁体電流狭窄層上に、選択成長により形成された一般式  $In_pAl_qGa_{1-p-q}N$  ( $0 \leq p \leq 1$ ,  $0 \leq q \leq 1$ ,  $0 \leq p+q \leq 1$ ) で表される第2の半導体層と、選択成長により形成された前記第2の半導体層を埋め込む一般式  $In_mAl_nGa_{1-m-n}N$  ( $0 \leq m \leq 1$ ,  $0 \leq n \leq 1$ ,  $0 \leq m+n \leq 1$ ) で表される第3の半導体層を有し、前記第1の半導体層、第2の半導体層又は第3の半導体層がダブルヘテロ構造の少なくとも一部を構成し、光出射方向が前記開口部のストライプ方向であることを特徴とする窒化ガリウム系半導体発光素子。

【請求項2】選択成長により形成されたコンタクト層と、前記コンタクト層の上面、側面に形成された電極を有することを特徴とする請求項1記載の窒化ガリウム系半導体発光素子。

【請求項3】一般式  $In_xAl_{1-x}Ga_{1-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq x+y \leq 1$ ) で表される第1の半導体層と、前記第1の半導体層の上に形成され  $[1-100]$  方向または  $[1-100]$  方向となす角が10度以内である方向のストライプ状の開口部を持つ絶縁体電流狭窄層と、前記開口部と一部の絶縁体電流狭窄層上に形成され側面に  $[1-122]$  面又は  $[1-120]$  面あるいは  $[1-122]$  面又は  $[1-120]$  面となす角が10度以内である面を有する一般式  $In_pAl_qGa_{1-p-q}N$  ( $0 \leq p \leq 1$ ,  $0 \leq q \leq 1$ ,  $0 \leq p+q \leq 1$ ) で表される第2の半導体層と、前記第2の半導体層を埋め込み側面に  $[1-122]$  又は  $[1-120]$  面あるいは  $[1-122]$  面又は  $[1-120]$  面となす角が10度以内である面を有する一般式  $In_mAl_nGa_{1-m-n}N$  ( $0 \leq m \leq 1$ ,  $0 \leq n \leq 1$ ,  $0 \leq m+n \leq 1$ ) で表される第3の半導体層を有し、前記第1の半導体層、第2の半導体層又は第3の半導体層がダブルヘテロ構造の少なくとも一部を構成し、光出射方向が前記開口部のストライプ方向であることを特徴とする窒化ガリウム系半導体発光素子。

【請求項4】コンタクト層の側面が  $[1-122]$  面又は  $[1-120]$  面あるいは  $[1-122]$  面又は  $[1-120]$  面となす角が10度以内である面を有し、前記コンタクト層の上面、側面に電極が形成されていることを特徴とする請求項3記載の窒化ガリウム系半導体発光素子。

【請求項5】前記絶縁体電流狭窄層上に多結晶  $AlGa$  N膜が形成され、前記多結晶  $AlGa$  N膜上にも電極が

形成されていることを特徴とする請求項1、2、3又は4記載の窒化ガリウム系半導体発光素子。

【請求項6】前記第2の半導体層が活性層を含む多層構造であることを特徴とする請求項1、2、3、4又は5記載の窒化ガリウム系半導体発光素子。

【請求項7】前記第1の半導体層が活性層を含む多層構造であることを特徴とする請求項1、2、3、4又は5記載の窒化ガリウム系半導体発光素子。

【請求項8】前記第3の半導体層が活性層を含む多層構造であることを特徴とする請求項1、2、3、4又は5記載の窒化ガリウム系半導体発光素子。

【請求項9】(0001)面または(0001)面となす角が10度以内である面を表面とする六方晶の第1の半導体層上に、光出射方向となる  $[1-100]$  方向または  $[1-100]$  方向となす角が10度以内の方向にストライプ状の開口部を持つ絶縁体マスクを形成し、選択成長により、前記ストライプ状の開口部及び一部の絶縁体マスク上に一般式  $In_pAl_qGa_{1-p-q}N$  ( $0 \leq p \leq 1$ ,  $0 \leq q \leq 1$ ,  $0 \leq p+q \leq 1$ ) で表される第2の半導体層および前記第2の半導体層を埋め込む一般式  $In_mAl_nGa_{1-m-n}N$  ( $0 \leq m \leq 1$ ,  $0 \leq n \leq 1$ ,  $0 \leq m+n \leq 1$ ) で表される第3の半導体層を形成する窒化ガリウム系半導体発光素子の製造方法であって、ダブルヘテロ構造の少なくとも一部を、前記第2の半導体層又は第3の半導体層で形成することを特徴とする窒化ガリウム系半導体発光素子の製造方法。

【請求項10】前記第3の半導体層の上面及び側面、あるいは前記第3の半導体層上に埋め込むコンタクト層の上面および側面に電極を形成することを特徴とする請求項9記載の窒化ガリウム系半導体発光素子の製造方法。

【請求項11】前記絶縁体マスク上に多結晶  $AlGa$  N膜を形成し、前記第3の半導体層の上面および側面と多結晶  $AlGa$  N膜上、あるいは前記第3の半導体層上に埋め込むコンタクト層の上面および側面と多結晶  $AlGa$  N膜上に電極を形成することを特徴とする請求項9記載の窒化ガリウム系半導体発光素子の製造方法。

【請求項12】前記絶縁体マスクによる被覆率を変えることにより、選択成長する前記第2の半導体層、前記第3の半導体層の成膜レートを制御することを特徴とする請求項9、10又は11記載の窒化ガリウム系半導体発光素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、窒化ガリウム系半導体発光素子とその製造方法に関し、特に素子抵抗及び動作電流が低く、さらにレーザ構造を有する場合は、基本モードに整形されたレーザ光の放出を可能とする窒化ガリウム系半導体発光素子とその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】窒化ガリウムは、 $InP$ や $GaN$ とい

った従来の一般的な化合物半導体に比べ、禁制帯エネルギーが大きい。そのため、一般式  $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$ ) で表される半導体（以下、窒化ガリウム系半導体）は緑から紫外にかけての発光ダイオード、半導体レーザへの応用が期待されている。このような窒化ガリウム系半導体発光素子は形成方法により六方晶と立方晶の2種類の結晶構造を取り得るが、六方晶の方がエネルギー的に安定のため、通常は六方晶の結晶構造を用いている。

【0003】図13は、従来技術による窒化ガリウム系半導体レーザの概略断面図である（例えば、S. Nakamura et al., Appl. Phys. Lett. 69 (1996)1477）。図13に於いて、この窒化ガリウム系半導体レーザの層構造は、(11-20)面を表面とするサファイア基板101上に、厚さ3 $\mu$ mのn型GaNコンタクト層102、厚さ0.4 $\mu$ mのn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層103、厚さ0.1 $\mu$ mのn型GaN光ガイド層104、厚さ25Å（オングストローム）のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N量子井戸層と厚さ50Å（オングストローム）のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層105、厚さ0.1 $\mu$ mのp型GaN光ガイド層106、厚さ0.4 $\mu$ mのp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層107、厚さ0.2 $\mu$ mのp型GaNコンタクト層108、Ni/Auの2層金属からなるp電極113、Ti/Alの2層金属からなるn電極112が形成されている。

【0004】図13において、全ての半導体層は平坦なサファイア基板101上に形成され、p型クラッド層107とp型コンタクト層108はエッチングによって幅4 $\mu$ m程度のストライプ状のリッジ構造109に加工され、リッジの頭部を除いて形成されたSiO<sub>2</sub>膜110によって電流をリッジ部分のみに狭窄している。また、サファイア基板101は絶縁体のため、エッチングによって段差111を形成し、n型コンタクト層102を露出した後にn電極112を形成している。図13に示された従来の窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層は全て(0001)面を表面とする六方晶である。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】図13に示された従来の窒化ガリウム系レーザは、エッチングにより形成された、幅4 $\mu$ mのリッジ構造によって電流狭窄を行なっているために発振しきい値電流が小さくなっている。また、リッジ部分とそれ以外の部分で実効的な活性層の屈折率差ができるので、図13のレーザ構造断面内での光導波ができ、基本モードの楕円形のレーザ光が放射される。レーザ光の放射パターンが基本モードであることは、光ディスク用光源などの用途では、レンズによる集光で小さいスポットが得られるため重要である。

【0006】しかしながら、図13に示された従来の窒化ガリウム系半導体レーザは、レーザ表面に形成された

p電極113と電流狭窄を行うためのリッジ構造のp型コンタクト層108との接触面積が4 $\mu$ m程度と小さいために電極とコンタクト層の間の接触抵抗が大きいという問題があった。特に窒化ガリウム系半導体では、p型ドーパントの活性化エネルギーが大きいこと、p型層のホール濃度を大きくできないこと、良好なp型オーミック電極金属がないことからp型コンタクトの接触抵抗が大きく、p型コンタクト面積が小さいことによる素子抵抗への影響は大きい。また、p型層、特にp型AlGa<sub>0.93</sub>N層107のバルク抵抗は大きく、電流が幅の狭いp型層に狭窄されていることによる素子抵抗への影響は大きい。

【0007】更に、一般にエッチングによるリッジ構造形成は、厳しいエッチングレート制御性が必要であり、半導体層が損傷を受けやすい、あるいは工程が複雑である、などの問題が多い。

【0008】選択成長を用いて窒化物系半導体発光素子のダブルヘテロ構造を作成した例としては特開平7-249831号公報の例が知られているが、この例では選択成長でレーザ共振器の反射面を形成するためのものであり、素子抵抗及び低動作電流を実現するための構造および作製方法についての記載はなかった。

【0009】本発明の目的は、素子抵抗及び動作電流が低い窒化ガリウム系半導体発光素子を提供すること、さらに、このような窒化ガリウム系半導体発光素子を簡単な工程で得るための製造方法を提供することにある。

#### 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の窒化ガリウム系半導体発光素子は、一般式  $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$ ) で表される第1の半導体層と、前記第1の半導体層の上に形成され[1-100]方向または[1-100]方向となす角が10度以内である方向のストライプ状の開口部を持つ絶縁体電流狭窄層と、前記絶縁体電流狭窄層をマスクとして前記開口部と一部の絶縁体電流狭窄層上に、選択成長により形成された一般式  $In_pAl_qGa_{1-p-q}N$  ( $0 \leq p \leq 1, 0 \leq q \leq 1, 0 \leq p+q \leq 1$ ) で表される第2の半導体層と、選択成長により形成された前記第2の半導体層を埋め込む一般式  $In_mAl_nGa_{1-m-n}N$  ( $0 \leq m \leq 1, 0 \leq n \leq 1, 0 \leq m+n \leq 1$ ) で表される第3の半導体層を有し、前記第1の半導体層、第2の半導体層又は第3の半導体層がダブルヘテロ構造の少なくとも一部を構成し、光出射方向が前記開口部のストライプ方向であることを特徴とする。さらに、選択成長により形成されたコンタクト層と、前記コンタクト層の上面、側面に形成された電極を有することを特徴とする。

【0011】(0001)面を表面とする六方晶窒化ガリウム系半導体層上に[1-100]方向のストライプ状の開口部を有する絶縁体マスクを形成し、GaN、I

nGaIn または AlGaIn を選択的に成長する場合、六方晶窒化ガリウム系半導体層の  $[1-100]$  方向には殆ど成長しないが、 $[1-120]$  方向には  $[0001]$  方向と同程度の速度で成長がすすむため、絶縁体マスク上でラテラル成長がおり、成長層の側面には、例えば  $[1-122]$  面あるいは、 $[1-120]$  面などの面が見れる。本発明は、このような選択成長の特性を利用し、発光素子のダブルヘテロ構造の少なくとも一部に利用したものである。

【0012】本発明の窒化ガリウム系半導体発光素子は、一般式  $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq x+y \leq 1$ ) で表される第1の半導体層と、前記第1の半導体層の上に形成され  $[1-100]$  方向または  $[1-100]$  方向となす角が  $10$  度以内である方向のストライプ状の開口部を持つ絶縁体電流狭窄層と、前記開口部と一部の絶縁体電流狭窄層上に形成され側面に  $[1-122]$  面又は  $[1-120]$  面あるいは  $[1-122]$  面又は  $[1-120]$  面となす角が  $10$  度以内である面を有する一般式  $In_pAl_qGa_{1-p-q}N$  ( $0 \leq p \leq 1$ ,  $0 \leq q \leq 1$ ,  $0 \leq p+q \leq 1$ ) で表される第2の半導体層と、前記第2の半導体層を埋め込み側面に  $[1-122]$  又は  $[1-120]$  面あるいは  $[1-122]$  面又は  $[1-120]$  面となす角が  $10$  度以内である面を有する一般式  $In_mAl_nGa_{1-m-n}N$  ( $0 \leq m \leq 1$ ,  $0 \leq n \leq 1$ ,  $0 \leq m+n \leq 1$ ) で表される第3の半導体層を有し、前記第1の半導体層、第2の半導体層又は第3の半導体層がダブルヘテロ構造の少なくとも一部を構成し、光出射方向が前記開口部のストライプ方向であることを特徴とする。

【0013】上述の窒化ガリウム系半導体の選択成長の特性を利用するダブルヘテロ構造の一部は選択成長によって形成された半導体層により埋め込まれる。このため活性層が選択成長層により埋め込まれると、活性層上に形成される光ガイド層やクラッド層が活性層横方向にも形成されるため、活性層横方向の屈折率差が大きくなり、横モード制御が可能となる。

【0014】また、コンタクト層の側面が  $[1-122]$  面又は  $[1-120]$  面あるいは  $[1-122]$  面又は  $[1-120]$  面となす角が  $10$  度以内である面を有し、コンタクト層の上面、側面に電極が形成されていることを特徴とする。選択成長によって形成されたコンタクト層の側面となる  $[1-122]$  又は  $[1-120]$  面および上部表面に電極を形成することで、電極とのコンタクト面積を大きく取ることができ、コンタクト抵抗を低くできる素子構造が得られる。さらに選択成長に用いる絶縁体マスクは電流狭窄手段として利用できるため、効率的な電流注入を行うことができる。なお、選択成長により形成される側面の方位は、 $[1-122]$  面又は  $[1-120]$  面に限られるものではない。

【0015】また本発明は、絶縁体電流狭窄層上に多結

晶 AlGaIn 膜が形成され、多結晶 AlGaIn 膜上にも電極が形成されていることを特徴とする。AlGaIn を選択成長する場合は、マスク上に多結晶 AlGaIn 膜が形成されるが、多結晶化に伴う表面積の増加により AlGaIn 膜上に形成される電極は剥離しにくくなり、電極の剥離を防止することができる。

【0016】なお、 $(0001)$  面または  $(0001)$  面となす角が  $10$  度以内である面を表面とする六方晶の半導体層上に選択成長によって形成されるダブルヘテロ構造の一部としては、下部クラッド層から上の層、または活性層から上の層、あるいは上部クラッド層から上の層などが想定できる。

【0017】次に、本発明の窒化ガリウム系半導体発光素子の製造方法は、 $(0001)$  面または  $(0001)$  面となす角が  $10$  度以内である面を表面とする六方晶の第1の半導体層上にストライプ状の開口部を持つ絶縁体マスクを形成し、前記ストライプ状の開口部上に一般式  $In_pAl_qGa_{1-p-q}N$  ( $0 \leq p \leq 1$ ,  $0 \leq q \leq 1$ ,  $0 \leq p+q \leq 1$ ) で表される半導体層を選択成長によって形成する窒化ガリウム系半導体発光素子の製造方法であって、前記開口部のストライプ方向を前記第1の半導体層の  $[1-100]$  方向または  $[1-100]$  方向となす角が  $10$  度以内である方向とし、前記選択成長によって活性層を含むダブルヘテロ構造のうち少なくとも一部の半導体層を形成することを特徴とする。

【0018】本発明では、ダブルヘテロ構造の少なくとも一部を選択成長で形成することで、エッチング工程によるリッジ形成の必要なく活性層横方向の屈折率差を大きくすることができ、エッチング工程を削減して光導波構造を作成することが可能となる。さらに、選択成長によって形成されたコンタクト層の側面となる  $[1-122]$  又は  $[1-120]$  面および上部表面に電極を形成することで、電極とのコンタクト面積を大きく取ることができ、コンタクト抵抗を低くできる素子構造が得られる。また選択成長に用いる誘電体マスクは電流狭窄手段として利用することができ、効率的な電流注入構造を作成できる。

【0019】このように、本発明の製造方法では、良好な素子特性が得られる構造を簡易な製造工程で得ることができる。

【0020】なお、選択成長に用いるマスク幅を変え、マスクによる被覆率を変えることにより、選択成長によって形成される半導体層の成膜レートを制御することが可能となり、ヘテロ構造における所望の半導体層の層厚の制御が容易となる。また光導波路を半導体結晶の  $[1-100]$  方向に形成することで、窒化ガリウム系半導体の  $(1-100)$  へき開面を用いて共振器鏡面を形成することができる。

【0021】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の各実施例につい

て図面を参照して詳しく説明する。

【0022】《実施例1》図1は、本発明を窒化ガリウム系半導体レーザに適用した実施例1の概略断面図である。

【0023】図1に示された本実施例1では、窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層として(0001)面を表面とする六方晶を用いている。図1に於いて、本発明の窒化ガリウム系半導体レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板31上に、厚さ3 $\mu$ mのn型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層32、厚さ0.4 $\mu$ mのn型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層33、厚さ0.05 $\mu$ mのn型Ga<sub>0.99</sub>N光ガイド層34、n型Ga<sub>0.99</sub>N光ガイド層34上に形成され<1-100>方向の幅1 $\mu$ mのストライプ状開口部36を持った厚さ2000Å(オングストローム)のSiO<sub>2</sub>マスク35、SiO<sub>2</sub>マスク35を用いてストライプ状開口部36に選択的に形成された厚さ0.05 $\mu$ mのn型Ga<sub>0.99</sub>N光ガイド層37、厚さ25Å(オングストローム)のIn<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N量子井戸層と厚さ50Å(オングストローム)のIn<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層38、厚さ0.1 $\mu$ mのp型Ga<sub>0.99</sub>N光ガイド層39、厚さ0.4 $\mu$ mのp型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層40、厚さ0.2 $\mu$ mのp型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層41からなる積層構造が形成されている。選択成長により形成した層は、側面が[1-122]面となっている。

【0024】また素子電極はNi/Auの2層金属からなるp電極44、Ti/Alの2層金属からなるn電極43で形成されている。サファイア基板31が絶縁体のため、n電極43はエッチングによって段差42を形成し、n型コンタクト層32を露出した後に形成してい

る。

【0025】次に図1に示された本発明の実施例1の窒化ガリウム系半導体レーザの製造方法について説明する。

【0026】初めに、有機金属化学気相成長法により、平坦なサファイア基板31上に、n型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層32、n型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層33、n型Ga<sub>0.99</sub>N光ガイド層34を前述の順序で形成した後に、結晶の[1-100]方向に、幅1 $\mu$ mのストライプ状の開口部36を持つSiO<sub>2</sub>マスク35を形成し、しかる後に、有機金属化学気相成長法により、SiO<sub>2</sub>マスク35の開口部36に選択的にn型Ga<sub>0.99</sub>N光ガイド層37を成長し、続いて多重量子井戸構造活性層38、p型Ga<sub>0.99</sub>N光ガイド層39、p型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層40、p型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層41を成長する。さらにp電極、n電極を形成する工程を経て窒化ガリウム系半導体レーザを形成する。

【0027】図1に示された本発明の実施例1の窒化ガリウム系半導体レーザでは、n型層上にSiO<sub>2</sub>マスク35により開口部36を形成し、選択成長を行うことで

開口部36周辺に活性層とp型層を選択的に形成している。この場合、活性層38に対する電流狭窄をSiO<sub>2</sub>膜35で行うことができ活性層38への理想的な電流狭窄が可能となる。

【0028】また実施例1の場合は活性層の側面は活性層の屈折率より低い層で埋め込まれて活性層横方向の屈折率差が大きくなるため、活性層幅を1 $\mu$ m程度と小さくすることでレーザ光の基本横モード制御が行える。

【0029】図13に示した従来の窒化ガリウム系半導体レーザの電流狭窄構造では、幅4 $\mu$ mのリッジに沿って電流狭窄されるが活性層付近でさらに2 $\mu$ m程度電流が広がってしまう。これに対し、本発明の実施例1の半導体レーザでは、ほぼ完全な電流狭窄で1 $\mu$ m程度の幅の狭い幅の活性層に電流注入を行えるため、従来の窒化ガリウム系半導体レーザに比べてレーザの発振閾値は数分の1に大きく減少する。

【0030】また前述の通り、(0001)面を表面とする六方晶窒化ガリウム系半導体層上にGa<sub>0.99</sub>N、InGa<sub>0.99</sub>N又はAlGa<sub>0.99</sub>Nを選択成長により形成する場合、Ga<sub>0.99</sub>N、InGa<sub>0.99</sub>N又はAlGa<sub>0.99</sub>Nは六方晶窒化ガリウム系半導体層の[1-120]方向では[0001]方向と同程度の成長速度を持つ。従って、p型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層41の頂上の幅は、電流狭窄幅(=SiO<sub>2</sub>膜35の開口部36の幅:1 $\mu$ m)に比べて選択成長する結晶の層厚の2倍程度、すなわち1.6 $\mu$ m程度大きくなる。これに加えてp型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層41はリッジ形状になっており、リッジ側壁にもコンタクトが形成されているため、p電極44と導通する総コンタクト面積は4 $\mu$ m程度になる。

【0031】図13に示した従来の窒化ガリウム系半導体レーザでは、p型コンタクトの幅は4 $\mu$ mのリッジ上部の幅に等しく、この幅とp型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層40とp型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層41の電流が流れる幅はほぼ等しくなる。これに対して実施例1ではp型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層40とp型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層41の電流が流れる幅は3 $\mu$ m程度になる。従って、実施例1の窒化ガリウム系半導体レーザでは、従来の窒化ガリウム系半導体レーザと比較してp型コンタクト抵抗、及びp型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層9とp型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層10のバルク抵抗は同程度になる。

【0032】このように、本発明の構造では従来と同程度の素子抵抗を維持しながら発振閾値を減少することが可能となり、動作電圧を従来よりも低減することができる。

【0033】また本実施例1では、光導波路を半導体結晶の[1-100]方向に形成しているため、窒化ガリウム系半導体の(1-100)へき開面を用いて共振器鏡面を形成することができ、さらに電流狭窄構造形成のためのドライエッチングが不要であるため製造工程を簡

単にできる。

【0034】《実施例2》図2は、本発明を窒化ガリウム系レーザに適用した実施例2の概略断面図である。図2に示された実施例2の窒化ガリウム系半導体レーザは、実施例1の半導体レーザと比較して絶縁体マスク上に多結晶AlGaIn45が形成されている点が異なっている。

【0035】図2に示された、本実施例2では窒化ガリウム系レーザの半導体層は全て(0001)面を表面とする六方晶である。図2に於いて、本発明の窒化ガリウム系半導体レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板31上に、厚さ3μmのn型GaInコンタクト層32、厚さ0.4μmのn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層33、厚さ0.05μmのn型GaIn光ガイド層34、n型GaIn光ガイド層34上に形成され<1-100>方向の幅1μmのストライプ状開口部36を持った厚さ2000Å(オングストローム)のSiO<sub>2</sub>マスク35、SiO<sub>2</sub>マスク35を用いて選択的に形成された厚さ0.05μmのn型GaIn光ガイド層37、厚さ25Å(オングストローム)のIn<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N量子井戸層と厚さ50Å(オングストローム)のIn<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層38、厚さ0.1μmのp型GaIn光ガイド層39、厚さ0.4μmのp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層40、厚さ0.2μmのp型GaInコンタクト層41からなる積層構造が形成されている。選択成長により形成した層は、側面が[1-122]面となっている。

【0036】また素子電極はNi/Auの2層金属からなるp電極44、Ti/Alの2層金属からなるn電極43で形成されている。n電極43はサファイア基板31が絶縁体のためエッチングによって段差42を形成し、n型コンタクト層32を露出した後に形成している。

【0037】AlGaIn選択成長時には、選択成長マスク上に多結晶AlGaInができやすくなるが、多結晶AlGaIn45の層厚はp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層40に比べて数分の1程度に小さく、SiO<sub>2</sub>膜35により電流狭窄及び光導波を行うことは実施例1と同様であり、多結晶AlGaIn45があっても電流狭窄及び光導波の効果は変わらない。

【0038】また低抵抗化に関しても実施例1と同様の効果が得られるが、多結晶ができると、表面が凹凸になるので、図のように電極を形成したときに接触面積が大きく、はがれにくくなるというAlGaIn選択成長による特有の効果もある。

【0039】さらに、電流狭窄構造形成のためのドライエッチングが不要であるため製造工程を簡単にできること、光導波路が半導体結晶の[1-100]方向に形成され、窒化ガリウム系半導体の(1-100)へき開面を用いて共振器鏡面を形成できることも実施例1と同様

である。

【0040】《実施例3》図3は、本発明を窒化ガリウム系半導体レーザに適用した実施例3の概略断面図である。図3に示された実施例3の窒化ガリウム系半導体レーザは、実施例1の半導体レーザと比較して、選択成長のためのSiO<sub>2</sub>マスクの形状と、選択的に結晶成長する領域が異なっている。

【0041】図3に示された、本実施例3では、窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層は(0001)面を表面とする六方晶窒化ガリウム系半導体を用いている。図3に於いて、本発明の窒化ガリウム系半導体レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板31上に、厚さ3μmのn型GaInコンタクト層32、厚さ0.4μmのn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層33、厚さ0.05μmのn型GaIn光ガイド層34、n型GaIn光ガイド層34上に形成され<1-100>方向のストライプ状に形成された、幅1μmの空隙47を挟んで1対の幅15μm、厚さ2000Å(オングストローム)のSiO<sub>2</sub>マスク46、SiO<sub>2</sub>マスク46を用いて選択的に形成された厚さ0.05μmのn型GaIn光ガイド層48、厚さ25Å(オングストローム)のIn<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N量子井戸層と厚さ50Å(オングストローム)のIn<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層49、厚さ0.1μmのp型GaIn光ガイド層50、厚さ0.4μmのp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層51、厚さ0.2μmのp型GaInコンタクト層52、p型GaInコンタクト層52上に形成され空隙47と中心が一致する幅15μmの開口部を持ったSiO<sub>2</sub>マスク55からなる積層構造が形成されている。選択成長により形成した層は、側面が[1-122]面となっている。

【0042】また素子電極はNi/Auの2層金属からなるp電極56、Ti/Alの2層金属からなるn電極54で形成されている。サファイア基板31が絶縁体のため、n電極54はエッチングによって段差53を形成し、n型コンタクト層32を露出した後に形成している。

【0043】次に図3に示された本発明の実施例3の窒化ガリウム系半導体レーザの製造方法について説明する。

【0044】図3の半導体レーザの半導体結晶部分の製造方法は、選択的に形成する半導体層の成長領域が異なる以外は実施例1と同様である。

【0045】本実施例3では、幅15μm、間隔1μmの1対の厚さ2000Å(オングストローム)のSiO<sub>2</sub>マスク46を用いている。このようなSiO<sub>2</sub>マスクを用いても、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層とp型GaInコンタクト層が横方向に広がって形成されることは実施例1と同様であるが、n型GaIn光ガイド層34表面でSiO<sub>2</sub>マスクのある領域とない領域の面積比



( $\text{SiO}_2$  に被覆された面積／被覆されていない面積：以下、「被覆率」と呼ぶ)を、数十分の1程度以下に小さくできる。この結果、選択的に形成する半導体層の層厚方向の成膜レートを $\text{SiO}_2$  マスクのない場合とほぼ同じにすることができ、選択成長の際の成膜レートを制御しやすくできる。

【0046】実施例3のように1対のマスクにより選択成長を行う場合、所望の素子形成領域以外にも半導体層が成長することになるが、図3に示したように、所望の素子形成領域以外の成長部分については、 $\text{SiO}_2$  膜55を電流ブロックとして用いることで、電流が $\text{SiO}_2$  空隙47のみに流れるようになる。したがって、実施例3の製造方法による構造でも実施例1と同様に低抵抗化、電流狭窄、横モード制御などが実現できる。

【0047】また、電流狭窄構造形成のドライエッチングが不要であるため製造工程が簡単になる。さらに光導波路が半導体結晶の $[1-100]$ 方向に形成するため、窒化ガリウム系半導体の $(1-100)$ へき開面を用いて共振器鏡面を形成することができる。

【0048】《実施例4》図4は、本発明を窒化ガリウム系半導体レーザに適用した実施例4の概略断面図である。図4に示された本実施例4の窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層は、全て $(0001)$ 面を表面とする六方晶である。本実施例4と実施例3の違いは、実施例3における $(11-20)$ 面を表面とするサファイア基板31と厚さ $3\mu\text{m}$ のn型Ga<sub>0.97</sub>N<sub>0.03</sub>コンタクト層32がn型Ga<sub>0.97</sub>N<sub>0.03</sub>基板92に置き換わったことである。この結果、n電極54はn型Ga<sub>0.97</sub>N<sub>0.03</sub>基板92の裏面に形成される。

【0049】なお、図4の半導体レーザの半導体結晶部分の製造方法は、n型基板92上に直接選択的に結晶を形成すること以外は実施例3と同様である。

【0050】本発明の実施例4の窒化ガリウム系半導体レーザでは、n電極形成の為にドライエッチングが不要であり、実施例3に比較して更に製造工程が簡略化される。また、光導波路が半導体結晶の $[1-100]$ 方向に形成され、窒化ガリウム系半導体の $(1-100)$ へき開面を用いて共振器鏡面を形成することが出来ることは実施例1～3と同様であるが、基板自体がGa<sub>0.97</sub>N<sub>0.03</sub>であるため、サファイア基板がある場合に比べて劈開面形成ははるかに容易になる。低抵抗化、電流狭窄、横モード制御などに対する効果は実施例3と同様である。

【0051】《実施例5》図5は、本発明を窒化ガリウム系半導体レーザに適用した実施例5の概略断面図である。図5に示された、本実施例5の窒化ガリウム系レーザの半導体層は全て $(0001)$ 面を表面とする六方晶である。

【0052】図5に於いて、本発明の窒化ガリウム系半導体レーザは、 $(11-20)$ 面を表面とするサファイア基板61上に、厚さ $3\mu\text{m}$ のn型Ga<sub>0.97</sub>N<sub>0.03</sub>コンタクト層

62、該n型Ga<sub>0.97</sub>N<sub>0.03</sub>コンタクト層62上に形成され、 $[1-100]$ 方向の幅 $1\mu\text{m}$ のストライプ状開口部64を持つ厚さ $2000\text{\AA}$ (オングストローム)の $\text{SiO}_2$ マスク63、 $\text{SiO}_2$ マスク63を用いて選択的に形成された厚さ $0.4\mu\text{m}$ のn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層65、厚さ $0.1\mu\text{m}$ のn型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層66、厚さ $25\text{\AA}$ (オングストローム)のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N量子井戸層と厚さ $50\text{\AA}$ (オングストローム)のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層67、厚さ $0.1\mu\text{m}$ のp型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層68、厚さ $0.4\mu\text{m}$ のp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層69、厚さ $0.2\mu\text{m}$ のp型Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層70を形成している。選択成長により形成した層は、側面が $[1-122]$ 面となっている。Ni/Auの2層金属からなるp電極71、Ti/Alの2層金属からなるn電極72が形成されている。 $\text{SiO}_2$ マスク63を除去してn型コンタクト層62を露出した後にn電極72を形成している。

【0053】次に図5に示された本発明の実施例5の窒化ガリウム系半導体レーザの製造方法について説明する。

【0054】初めに、有機金属化学気相成長法により、平坦なサファイア基板61上に、n型Ga<sub>0.97</sub>N<sub>0.03</sub>コンタクト層62を形成した後に、結晶の $[1-100]$ 方向に、幅 $1\mu\text{m}$ のストライプ状の開口部64を持つ $\text{SiO}_2$ マスク63を形成し、しかる後に、有機金属化学気相成長法により、前記 $\text{SiO}_2$ マスク63の開口部64にのみ選択的にn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層65、n型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層66、多重量子井戸構造活性層67、p型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層68、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層69、p型Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層70からなる積層構造を形成する。

【0055】図5に示された実施例5の窒化ガリウム系半導体レーザは、活性層、p型層に加えてn型クラッド層も選択的に形成している。電流狭窄は実施例1～4と同様に $\text{SiO}_2$ 膜63により行うが、活性層67において電流が流れる幅が $\text{SiO}_2$ 膜63の開口部64の幅より $1\mu\text{m}$ 程度大きくなり、実施例1～4よりは電流狭窄効果は小さくなるが、図13に示すような従来の半導体レーザ構造よりも電流狭窄効果は大きい。

【0056】また、活性層横方向の光閉込に関しては、活性層67がベンドした形状になっているため、活性層67の平坦部分に光が閉じ込められる。

【0057】以上のように、従来より効果的な電流狭窄で $1\mu\text{m}$ 程度の幅の狭い活性層に電流注入を行えるため、活性層への電流狭窄幅 $6\mu\text{m}$ 程度の従来実施例に比べてレーザの発振閾値は大きく減少する。

【0058】更に、実施例1～4と同様にp型層が横方向に広がってリッジ状に形成されるため、pコンタクト面積は $5\mu\text{m}$ 程度、p型層の幅は $3\mu\text{m}$ 程度と従来の半

導体レーザ構造と同程度になる。従って、従来と同程度の素子抵抗を維持しつつ、発振閾値を減少させることができ、動作電圧の低減が可能となる。

【0059】さらに、本発明の実施例4においても、窒化ガリウム系半導体レーザの電流狭窄構造形成のためのドライエッチングが不要であるため製造工程を簡単にできる。また、窒化ガリウム系半導体の(1-100)面はへき開面であるため、窒化ガリウム系半導体レーザの共振器鏡面をへき開によって形成することができる。

【0060】《実施例6》図6は、本発明を窒化ガリウム系半導体レーザに適用した実施例6の概略断面図である。図6に示された、実施例6の窒化ガリウム系レーザの半導体層は全て(0001)面を表面とする六方晶である。

【0061】図6に於いて、本発明の窒化ガリウム系レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板61上に、厚さ3 $\mu$ mのn型Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層62、該n型Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層62上に形成され、<1-100>方向の幅1 $\mu$ mのストライプ状開口部64を持った厚さ2000Å(オングストローム)のSiO<sub>2</sub>マスク63、該SiO<sub>2</sub>マスク63を用いて選択的に形成された厚さ0.4 $\mu$ mのn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層65、厚さ0.1 $\mu$ mのn型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層66、厚さ25Å(オングストローム)のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N量子井戸層と厚さ50Å(オングストローム)のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層67、厚さ0.1 $\mu$ mのp型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層68、厚さ0.4 $\mu$ mのp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層69、厚さ0.2 $\mu$ mのp型Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層70を形成している。選択成長により形成した層は、側面が[1-122]面となっている。Ni/Auの2層金属からなるp電極71、Ti/Alの2層金属からなるn電極72が形成されている。n型コンタクト層62を露出した後にn電極72を形成している。n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層65及びp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層69の形成時には、形成方法によってはAlとSiO<sub>2</sub>の吸着が強いので、SiO<sub>2</sub>マスク63上にそれぞれ多結晶AlGa<sub>0.97</sub>N73、74が成長する。実施例6と実施例5との相違点は、多結晶AlGa<sub>0.97</sub>N73、74の有無である。また実施例6の半導体結晶部分の製造方法は実施例5と同様である。

【0062】図6に示された本発明の実施例6の窒化ガリウム系半導体レーザは、実施例5の半導体レーザに比較して、多結晶AlGa<sub>0.97</sub>N73、74があることのみが異なる。n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層65及びp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層69の形成時には、形成方法によってはAlとSiO<sub>2</sub>の吸着が強いので、SiO<sub>2</sub>マスク63上に多結晶AlGa<sub>0.97</sub>N73、74が成長する。

【0063】AlGa<sub>0.97</sub>N選択成長時には、選択成長マス

ク上に多結晶AlGa<sub>0.97</sub>Nができやすくなるが、多結晶Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N73、74の層厚はn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層65及びp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層69に比べて数分の1程度に小さい。SiO<sub>2</sub>膜63により電流狭窄及び光導波を行うことは実施例5と同様であり、多結晶AlGa<sub>0.97</sub>N73、74があっても電流狭窄及び光導波の効果は変わらない。低抵抗化に関しても実施例5と同様の効果がある。

【0064】また低抵抗化に関しても実施例1と同様の効果が得られるが、多結晶ができると、表面が凹凸になるので、図のように電極を形成したときに接触面積が大きく、はがれにくくなるというAlGa<sub>0.97</sub>N選択成長による特有の効果も得られる。

【0065】さらに、電流狭窄構造形成のためのドライエッチングが不要であるため製造工程が簡単であること、光導波路が半導体結晶の[1-100]方向に形成され、窒化ガリウム系半導体の(1-100)へき開面を用いて共振器鏡面を形成することが出来ることは実施例5と同様である。

【0066】《実施例7》図7は、本発明を窒化ガリウム系半導体レーザに適用した実施例7の概略断面図である。図7に示された、実施例7の窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層は全て(0001)面を表面とする六方晶である。図7に示された本発明の実施例7の窒化ガリウム系半導体レーザは、実施例5の半導体レーザに比較して、SiO<sub>2</sub>マスクの形状と、選択的に結晶を形成する領域が異なる。

【0067】図7に於いて、本発明の窒化ガリウム系半導体レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板61上に、厚さ3 $\mu$ mのn型Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層62、該n型Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層62上に形成され、<1-100>方向のストライプ状に形成された、幅1 $\mu$ mの空隙81を挟んで1対の幅15 $\mu$ m、厚さ2000Å(オングストローム)のSiO<sub>2</sub>マスク80、該SiO<sub>2</sub>マスク80を用いて選択的に形成された厚さ0.4 $\mu$ mのn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層82、厚さ0.1 $\mu$ mのn型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層83、厚さ25Å(オングストローム)のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N量子井戸層と厚さ50Å(オングストローム)のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層84、厚さ0.1 $\mu$ mのp型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層85、厚さ0.4 $\mu$ mのp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層86、厚さ0.2 $\mu$ mのp型Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層87、該p型Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層87上に形成され、かつ空隙81と中心が一致する幅15 $\mu$ mの開口部を持ったSiO<sub>2</sub>マスク88、Ni/Auの2層金属からなるp電極89、Ti/Alの2層金属からなるn電極91が形成されている。サファイア基板61は絶縁体なので、エッチングによって段差90を形成し、n型コンタクト層62を露出した後にn電極91を形成している。

【0068】図7の半導体レーザの半導体結晶部分の製造方法は、選択的に形成する半導体層の成長領域が異なる以外は実施例5と同様である。

【0069】本実施例7では、幅 $15\mu\text{m}$ 、間隔 $1\mu\text{m}$ の1対の厚さ $2000\text{\AA}$ （オングストローム）の $\text{SiO}_2$ マスク8を用いる。このような $\text{SiO}_2$ マスクを用いても、n型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層82、p型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層86、p型 $\text{GaN}$ コンタクト層87等が横方向に広がって形成されることは実施例5と同様であるが、n型 $\text{GaN}$ 層62表面で $\text{SiO}_2$ マスクのある領域とない領域の面積比（ $\text{SiO}_2$ に被覆された面積／被覆されていない面積：以下、被覆率と呼ぶ）を、数十分の1程度以下に小さくできる。この結果、選択的に形成する半導体層の層厚方向の成膜レートを $\text{SiO}_2$ マスクのない場合とほぼ同じにすることができ、成膜レートを制御しやすくなる。

【0070】低抵抗化、電流狭窄、横モード制御などに対する効果は実施例5と同様である。また、電流狭窄構造形成のためのドライエッチングが不要であるため製造工程が簡単であること、光導波路が半導体結晶の $[1-100]$ 方向に形成され、窒化ガリウム系半導体の $(1-100)$ へき開面を用いて共振器鏡面を形成することが出来ることも実施例5と同様である。

【0071】《実施例8》図8は、本発明を窒化ガリウム系半導体レーザに適用した実施例8の概略断面図である。図8に示された、本実施例8の窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層は全て $(0001)$ 面を表面とする六方晶である。

【0072】本実施例8と実施例7の違いは、実施例7における $(11-20)$ 面を表面とするサファイア基板61と厚さ $3\mu\text{m}$ のn型 $\text{GaN}$ コンタクト層62がn型 $\text{GaN}$ 基板92に置き換わったことである。この結果、n電極93はn型 $\text{GaN}$ 基板92の裏面に形成される。図8の半導体レーザの半導体結晶部分の製造方法は、n型基板92上に直接選択的に結晶を形成すること以外は実施例7と同様である。

【0073】この結果、n電極形成のためのドライエッチングが不要であり、実施例7に比較して更に製造工程が簡略化される。また、光導波路が半導体結晶の $[1-100]$ 方向に形成され、窒化ガリウム系半導体の $(1-100)$ へき開面を用いて共振器鏡面を形成することが出来ることは実施例5～7と同様であるが、基板自体が $\text{GaN}$ であるため、サファイア基板がある場合に比べて劈開面形成ははるかに容易になる。低抵抗化、電流狭窄、横モード制御などに対する効果は実施例7と同様である。

【0074】《実施例9》図9は、本発明を窒化ガリウム系半導体レーザに適用した実施例9の概略断面図である。図9に示された、本実施例9の窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層は全て $(0001)$ 面を表面とする

六方晶である。

【0075】図9に於いて、本発明の窒化ガリウム系半導体レーザは、 $(11-20)$ 面を表面とするサファイア基板1上に、厚さ $3\mu\text{m}$ のn型 $\text{GaN}$ コンタクト層2、厚さ $0.4\mu\text{m}$ のn型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層3、厚さ $0.1\mu\text{m}$ のn型 $\text{GaN}$ 光ガイド層4、厚さ $25\text{\AA}$ （オングストローム）の $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 量子井戸層と厚さ $50\text{\AA}$ （オングストローム）の $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層5、厚さ $0.1\mu\text{m}$ のp型 $\text{GaN}$ 光ガイド層6、該p型 $\text{GaN}$ 光ガイド層6上に形成され、 $\langle 1-100 \rangle$ 方向の幅 $4\mu\text{m}$ のストライプ状開口部8を持った厚さ $2000\text{\AA}$ （オングストローム）の $\text{SiO}_2$ マスク7、該 $\text{SiO}_2$ マスク7を用いて選択的に形成された厚さ $0.4\mu\text{m}$ のp型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層9、厚さ $0.2\mu\text{m}$ のp型 $\text{GaN}$ コンタクト層10、 $\text{Ni}/\text{Au}$ の2層金属からなるp電極13、 $\text{Ti}/\text{Al}$ の2層金属からなるn電極12が形成されている。サファイア基板1は絶縁体なので、エッチングによって段差11を形成し、n型コンタクト層2を露出した後にn電極12を形成している。

【0076】図9に示された本発明の実施例9の窒化ガリウム系半導体レーザの半導体結晶部分の製造工程に於いては、まず、有機金属化学気相成長法により、平坦なサファイア基板1上に、n型 $\text{GaN}$ コンタクト層2、n型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層3、n型 $\text{GaN}$ 光ガイド層4、多重量子井戸構造活性層5、p型 $\text{GaN}$ 光ガイド層6を前記順序で形成した後に、結晶の $[1-100]$ 方向に、幅 $4\mu\text{m}$ のストライプ状の開口部8を持つ $\text{SiO}_2$ マスク7を形成し、しかる後に、有機金属化学気相成長法により、前記 $\text{SiO}_2$ マスク7の開口部にのみ選択的にp型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層9、p型 $\text{GaN}$ コンタクト層10を形成する。

【0077】図13に示した従来の半導体レーザでは、エッチングによってメサを形成して電流狭窄を行っているため、活性層とメサ底面の間の層厚の制御が難しく、 $0.3\pm 0.1\mu\text{m}$ 程度になってしまう。これに対して図9に示された本発明の実施例9の窒化ガリウム系半導体レーザでは、結晶成長と $\text{SiO}_2$ 膜形成によって電流狭窄構造を作るため、活性層5から $\text{SiO}_2$ 膜7までの層厚を $0.1\pm 0.01\mu\text{m}$ 程度に制御性よく薄くすることができる。従って、本実施例では従来の半導体レーザ構造よりも電流広がり小さい電流狭窄構造を制御性よく形成することができる。また、 $\text{SiO}_2$ 膜7は $\text{GaN}$ 系材料よりも屈折率が小さいため、活性層5から放射されるレーザ光に対して図9の水平方向に実効的な屈折率差が生じ、レーザ光の放射パターンが基本モードの楕円形に整形される。

【0078】更に、前述の通り、 $(0001)$ 面を表面とする六方晶窒化ガリウム系半導体層上に $\text{GaN}$ 及び $\text{Al}$

1 GaN を選択成長により形成する場合、GaN 及び Al GaN は前記六方晶窒化ガリウム系半導体層の [1-120] 方向には [0001] 方向と同程度の成長速度を持つ。従って、p 型 GaN コンタクト層 10 の幅は電流狭窄幅 (= SiO<sub>2</sub> 膜 7 の開口部 8 の幅: 4 μm) に比べて 1.2 μm 程度大きくなる。これに加えて p 型 GaN コンタクト層 10 はリッジ形状になっており、リッジ側壁もコンタクトが形成されているため、p 電極 13 と導通するコンタクト面積は電流狭窄幅に比べて 2 倍程度にもなる。また、p 型 Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N クラッド層 9 と p 型 GaN コンタクト層 10 の電流が流れる幅は面積は電流狭窄幅に比べて 1.5 倍程度になる。これに比較して従来の半導体レーザでは、電流狭窄幅はリッジ幅に等しく、これと p 電極 13 と導通するコンタクト面積、p 型 Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N クラッド層 9 と p 型 GaN コンタクト層 10 の電流が流れる幅はほぼ等しくなる。従って、本発明の半導体レーザでは従来構造に比較して p 型コンタクト抵抗は 1/2、p 型 Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N クラッド層 9 と p 型 GaN コンタクト層 10 のバルク抵抗は 1/1.5 になり、大きく低抵抗化できる。特に GaN 系材料では p コンタクト抵抗及び p 型バルク抵抗が高く、本発明の実施によるデバイス抵抗低減効果は大きい。

【0079】さらに、本発明の実施例 9 の窒化ガリウム系半導体レーザは、電流狭窄構造形成のためのドライエッチングが不要であるため製造工程が簡単である。また、光導波路が半導体結晶の [1-100] 方向に形成されることになるが、窒化ガリウム系半導体の (1-100) 面はへき開面であるため、窒化ガリウム系半導体レーザの共振器鏡面をへき開によって形成することが出来るという利点もある。

【0080】《実施例 10》図 10 は、本発明を窒化ガリウム系半導体レーザに適用した実施例 10 の概略断面図である。図 10 に示された、本実施例 10 の窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層は全て (0001) 面を表面とする六方晶である。

【0081】図 10 に示された本発明の実施例 10 の窒化ガリウム系半導体レーザは、実施例 9 の半導体レーザに比較して、多結晶 Al GaN 14 があることのみが異なっている。

【0082】図 10 に於いて、本発明の窒化ガリウム系半導体レーザは、(11-20) 面を表面とするサファイア基板 1 上に、厚さ 3 μm の n 型 GaN コンタクト層 2、厚さ 0.4 μm の n 型 Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N クラッド層 3、厚さ 0.1 μm の n 型 GaN 光ガイド層 4、厚さ 25 Å (オングストローム) の In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N 量子井戸層と厚さ 50 Å (オングストローム) の In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N 障壁層からなる 7 周期の多重量子井戸構造活性層 5、厚さ 0.1 μm の p 型 GaN 光ガイド層 6、該 p 型 GaN 光ガイド層 6 上に形成され、<1-100>方

向の幅 4 μm のストライプ状開口部 8 を持った厚さ 2000 Å (オングストローム) の SiO<sub>2</sub> マスク 7、該 SiO<sub>2</sub> マスク 7 の開口部のみに選択的に形成された厚さ 0.4 μm の p 型 Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N クラッド層 9、厚さ 0.2 μm の p 型 GaN コンタクト層 10、Ni/Au の 2 層金属からなる p 電極 13、Ti/Al の 2 層金属からなる n 電極 12 が形成されている。サファイア基板 1 は絶縁体なので、エッチングによって段差 11 を形成し、n 型コンタクト層 2 を露出した後に n 電極 12 を形成している。p 型 Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N クラッド層 9 の形成時には、形成方法によっては Al と SiO<sub>2</sub> の吸着が強いので、SiO<sub>2</sub> マスク 7 上に多結晶 Al GaN 14 が形成される。

【0083】Al GaN 選択成長時には、選択成長マスク上に多結晶 Al GaN ができやすくなるが、多結晶 Al GaN 14 の層厚は p 型 Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N クラッド層 9 に比べて数分の 1 程度に小さい。SiO<sub>2</sub> 膜 7 により電流狭窄及び光導波を行うことは実施例 9 と同様であり、多結晶 Al GaN 14 があっても電流狭窄及び光導波の効果は変わらない。低抵抗化に関しても実施例 9 と同様の効果がある。

【0084】また低抵抗化に関しても実施例 9 と同様の効果が得られるが、多結晶ができると、表面が凹凸になるので、図のように電極を形成したときに接触面積が大きく、はがれにくくなるという Al GaN 選択成長による特有の効果も得られる。

【0085】また低抵抗化に関しても実施例 9 と同様の効果が得られるが、多結晶ができると、表面が凹凸になるので、図のように電極を形成したときに接触面積が大きく、はがれにくくなるという Al GaN 選択成長による特有の効果も得られる。

【0086】また、電流狭窄構造形成のためのドライエッチングが不要であるため製造工程が簡単であること、光導波路が半導体結晶の [1-100] 方向に形成され、窒化ガリウム系半導体の (1-100) へき開面を用いて共振器鏡面を形成することが出来ることは実施例 9 と同様である。

【0087】《実施例 11》図 11 は、本発明を窒化ガリウム系半導体レーザに適用した実施例 11 の概略断面図である。図 11 に示された、本実施例 11 の窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層は全て (0001) 面を表面とする六方晶である。

【0088】図 11 に於いて、本発明の窒化ガリウム系半導体レーザは、(11-20) 面を表面とするサファイア基板 1 上に、厚さ 3 μm の n 型 GaN コンタクト層 2、厚さ 0.4 μm の n 型 Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N クラッド層 3、厚さ 0.1 μm の n 型 GaN 光ガイド層 4、厚さ 25 Å (オングストローム) の In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N 量子井戸層と厚さ 50 Å (オングストローム) の In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N 障壁層からなる 7 周期の多重量子井戸構造活性

層5、厚さ0.1 $\mu$ mのp型Ga<sub>0.99</sub>N光ガイド層6、該p型Ga<sub>0.99</sub>N光ガイド層6上に<1-100>方向のストライプ状に形成された、幅4 $\mu$ mの空隙16を挟んで1対の幅15 $\mu$ m、厚さ2000Å（オングストローム）のSiO<sub>2</sub>マスク15、該SiO<sub>2</sub>マスク15を用いて選択的に形成された厚さ0.4 $\mu$ mのp型Al<sub>0.97</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層17、厚さ0.2 $\mu$ mのp型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層18、該p型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層18上に形成され、かつ空隙16と中心が一致する幅18 $\mu$ mの開口部を持ったSiO<sub>2</sub>マスク21、Ni/Auの2層金属からなるp電極22、Ti/Alの2層金属からなるn電極20が形成されている。サファイア基板1は絶縁体なので、エッチングによって段差19を形成し、n型コンタクト層2を露出した後にn電極20を形成している。図11の半導体レーザの半導体結晶部分の製造方法は、選択的に形成する半導体層の形状が異なる以外は実施例9と同様である。

【0089】図11に示された本発明の実施例11の窒化ガリウム系半導体レーザは、実施例9の半導体レーザに比較して、SiO<sub>2</sub>マスクの形状と、p型Al<sub>0.97</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層とp型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層を選択的に形成する領域が異なる。本実施例11では、幅15 $\mu$ m、間隔4 $\mu$ mの1対の厚さ2000Å（オングストローム）のSiO<sub>2</sub>マスク15を用いる。このようなSiO<sub>2</sub>マスクを用いても、p型Al<sub>0.97</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層17とp型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層18が横方向に広がって形成されることは実施例9と同様であるが、n型Ga<sub>0.99</sub>N光ガイド層4表面でSiO<sub>2</sub>マスクのある領域とない領域の面積比（SiO<sub>2</sub>に被覆された面積／被覆されていない面積：以下、被覆率と呼ぶ）を、数十分の1程度以下に小さくできる。この結果、p型Al<sub>0.97</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層17とp型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層18の層厚方向の成膜レートをSiO<sub>2</sub>マスクのない場合とほぼ同じにすることができ、p型Al<sub>0.97</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層17とp型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層18の成膜レートを制御しやすくなる。低抵抗化、電流狭窄、横モード制御などに対する効果は実施例9と同様である。また、電流狭窄構造形成のためのドライエッチングが不要であるため製造工程が簡単であること、光導波路が半導体結晶の[1-100]方向に形成され、窒化ガリウム系半導体の(1-100)へき開面を用いて共振器鏡面を形成することが出来ることは実施例9と同様である。

【0090】《実施例12》図12は、本発明を窒化ガリウム系半導体レーザに適用した実施例11の概略断面図である。図12に示された本実施例12の窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層は、全て(0001)面を表面とする六方晶である。

【0091】本実施例12と実施例11の違いは、実施例11における(11-20)面を表面とするサファイア基板1と厚さ3 $\mu$ mのn型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層2が

n型Ga<sub>0.99</sub>N基板92に置き換わったことである。この結果、n電極20はn型Ga<sub>0.99</sub>N基板92の裏面に形成される。

【0092】図12に示された本発明の実施例12の窒化ガリウム系半導体レーザでは、実施例11との違いは、実施例11における(11-20)面を表面とするサファイア基板1と厚さ3 $\mu$ mのn型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層2がn型Ga<sub>0.99</sub>N基板92に置き換わったことである。この結果、n電極20はn型Ga<sub>0.99</sub>N基板92の裏面に形成される。この結果、n電極形成のためのドライエッチングが不要であり、実施例11に比較して更に製造工程が簡略化される。また、光導波路が半導体結晶の[1-100]方向に形成され、窒化ガリウム系半導体の(1-100)へき開面を用いて共振器鏡面を形成することが出来ることは実施例9～11と同様であるが、基板自体がGa<sub>0.99</sub>Nであるため、サファイア基板がある場合に比べて劈開面形成ははるかに容易になる。低抵抗化、電流狭窄、横モード制御などに対する効果は実施例11と同様である。

【0093】＜実施例の変形＞実施例1から12の窒化ガリウム系レーザに於いては、光導波路が半導体結晶の[1-100]方向に形成されているが、光導波路は半導体結晶の[1-100]方向または[1-100]方向と10度以内の角をなす方向に形成されていれば、本発明の実施に支障はない。開口部と一部の絶縁体電流狭窄層上に形成され側面としては、[1-122]面の他、絶縁体マスクとしてSiNを用いた場合は[1-120]面が形成される場合もある。

【0094】また[1-100]方向とずれている場合でもレーザの共振器鏡面をドライエッチングなどのへき開以外の方法で形成すれば、ミラー面形成上の問題は無い。

【0095】さらに、上記実施例1～3、5～7、9～11に記載の窒化ガリウム系レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板上に形成されているが、これに限られるものではなく、(0001)面、あるいは他の面を表面とするサファイア基板上、あるいは炭化珪素基板、MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>基板、Ga<sub>0.99</sub>N基板に形成しても、絶縁体マスクが形成される結晶の表面が(0001)面であれば本発明の実施に支障はない。

【0096】また、実施例4、8、12に記載の窒化ガリウム系半導体レーザは、(0001)面n型Ga<sub>0.99</sub>N基板上に限らず、異なる面方位のn型Ga<sub>0.99</sub>N基板、n型炭化珪素基板といった他の基板上に形成した場合も、導電性かつ絶縁体マスクが形成される結晶の表面が(0001)面であれば本発明の実施に支障はない。

【0097】また、本発明の実施は上記実施例1～12に示された構造の窒化ガリウム系半導体レーザに限られるものではなく、各層の層厚や各層の組成や各層のドーピング濃度や電極材料やマスク材料やドライエッチング

深さやストライプ幅の様々な組み合わせの窒化ガリウム系半導体レーザに於いて支障はない。

【0098】また、絶縁体マスクは $\text{SiO}_2$ を用いてい  
るが、窒化珪素膜、 $\text{TiO}_2$ 膜などの他の材料の膜でも  
よく、絶縁体であればよい。また、実施例1～12の窒  
化ガリウム系半導体レーザに於いては、いずれも、半導  
体層の表面は(0001)面であるが、半導体層の表面  
は(0001)面または(0001)面とのなす角が1  
0度以内である面であれば、本発明の実施に支障はな  
い。

【0099】また、本発明は半導体レーザだけでなく、  
発光ダイオードにも適用可能である。

【0100】

【発明の効果】本発明では、選択成長の特性を利用し  
て、ダブルヘテロ構造の少なくとも一部を選択成長によ  
り形成することで、選択成長用マスクを電流狭窄手段と  
して用いることができ活性層への理想的な電流狭窄が可  
能となる。

【0101】また選択成長で活性層の側面を活性層の屈  
折率より低い層で埋め込むことにより、活性層横方向の  
屈折率差が大きくなり、活性層幅を所定の値とすること  
でレーザ光の基本横モード制御が行える。

【0102】さらに選択成長によりリッジ構造が形成で  
きるため電流狭窄構造形成のためのドライエッチングが  
不要となり製造工程を簡単にできる。

【0103】また光導波路を半導体結晶の〔1-10  
0〕方向に形成することで、窒化ガリウム系半導体の  
(1-100)へき開面を用いて共振器鏡面を形成する  
ことができ、さらに電流狭窄構造形成のためのドライエ  
ッチングが不要であるため製造工程を簡単にできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1の窒化ガリウム系半導体レー  
ザの概略断面図である。

【図2】本発明の実施例2の窒化ガリウム系半導体レー  
ザの概略断面図である。

【図3】本発明の実施例3の窒化ガリウム系半導体レー  
ザの概略断面図である。

【図4】本発明の実施例4の窒化ガリウム系半導体レー  
ザの概略断面図である。

【図5】本発明の実施例5の窒化ガリウム系半導体レー  
ザの概略断面図である。

【図6】本発明の実施例6の窒化ガリウム系半導体レー  
ザの概略断面図である。

【図7】本発明の実施例7の窒化ガリウム系半導体レー  
ザの概略断面図である。

【図8】本発明の実施例8の窒化ガリウム系半導体レー  
ザの概略断面図である。

【図9】本発明の実施例9の窒化ガリウム系半導体レー  
ザの概略断面図である。

【図10】本発明の実施例10の窒化ガリウム系半導体

レーザの概略断面図である。

【図11】本発明の実施例11の窒化ガリウム系半導体  
レーザの概略断面図である。

【図12】本発明の実施例12の窒化ガリウム系半導体  
レーザの概略断面図である。

【図13】従来の製造方法を用いて製造された、従来の  
窒化ガリウム系半導体レーザの概略断面図である。

【図14】従来の窒化ガリウム系半導体レーザの概略断  
面図である。

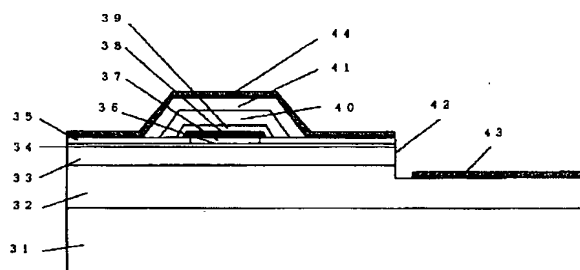
10 【符号の説明】

- 1 (11-20)面を表面とするサファイア基板
- 31 (11-20)面を表面とするサファイア基板
- 61 (11-20)面を表面とするサファイア基板
- 101 (11-20)面を表面とするサファイア基板
- 2 n型Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層
- 32 n型Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層
- 62 n型Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層
- 102 n型Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層
- 3 n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層
- 33 n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層
- 65 n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層
- 82 n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層
- 103 n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層
- 4 n型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層
- 34 n型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層
- 37 n型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層
- 48 n型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層
- 66 n型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層
- 104 n型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層
- 5 多重量子井戸構造活性層
- 38 多重量子井戸構造活性層
- 49 多重量子井戸構造活性層
- 67 多重量子井戸構造活性層
- 84 多重量子井戸構造活性層
- 105 多重量子井戸構造活性層
- 6 p型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層
- 39 p型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層
- 50 p型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層
- 68 p型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層
- 83 p型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層
- 85 p型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層
- 106 p型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層
- 7 SiO<sub>2</sub>膜
- 15 SiO<sub>2</sub>膜
- 21 SiO<sub>2</sub>膜
- 35 SiO<sub>2</sub>膜
- 46 SiO<sub>2</sub>膜
- 55 SiO<sub>2</sub>膜
- 63 SiO<sub>2</sub>膜
- 80 SiO<sub>2</sub>膜

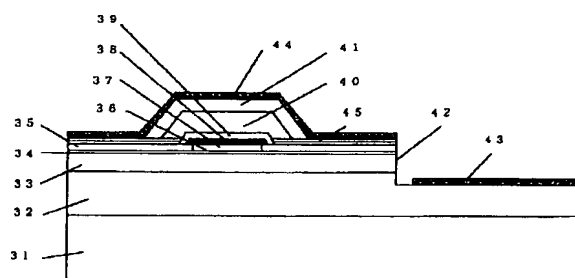
88  $\text{SiO}_2$  膜  
 110  $\text{SiO}_2$  膜  
 8  $\text{SiO}_2$  開口部  
 16  $\text{SiO}_2$  開口部  
 36  $\text{SiO}_2$  開口部  
 47  $\text{SiO}_2$  開口部  
 64  $\text{SiO}_2$  開口部  
 81  $\text{SiO}_2$  開口部  
 9 p型  $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$  クラッド層  
 17 p型  $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$  クラッド層  
 40 p型  $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$  クラッド層  
 51 p型  $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$  クラッド層  
 69 p型  $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$  クラッド層  
 86 p型  $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$  クラッド層  
 107 p型  $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$  クラッド層  
 10 p型 GaN コンタクト層  
 18 p型 GaN コンタクト層  
 41 p型 GaN コンタクト層  
 52 p型 GaN コンタクト層  
 70 p型 GaN コンタクト層  
 87 p型 GaN コンタクト層  
 108 p型 GaN コンタクト層  
 11 段差  
 19 段差  
 42 段差

53 段差  
 90 段差  
 111 段差  
 12 チタンおよびアルミニウムからなる n 電極  
 20 チタンおよびアルミニウムからなる n 電極  
 43 チタンおよびアルミニウムからなる n 電極  
 54 チタンおよびアルミニウムからなる n 電極  
 72 チタンおよびアルミニウムからなる n 電極  
 91 チタンおよびアルミニウムからなる n 電極  
 10 93 チタンおよびアルミニウムからなる n 電極  
 112 チタンおよびアルミニウムからなる n 電極  
 13 ニッケルおよび金からなる p 電極  
 22 ニッケルおよび金からなる p 電極  
 44 ニッケルおよび金からなる p 電極  
 56 ニッケルおよび金からなる p 電極  
 71 ニッケルおよび金からなる p 電極  
 89 ニッケルおよび金からなる p 電極  
 113 ニッケルおよび金からなる p 電極  
 14 多結晶 AlGaIn 層  
 20 45 多結晶 AlGaIn 層  
 73 多結晶 AlGaIn 層  
 74 多結晶 AlGaIn 層  
 109 リッジ構造  
 92 (0001) 面 n 型 GaN 基板

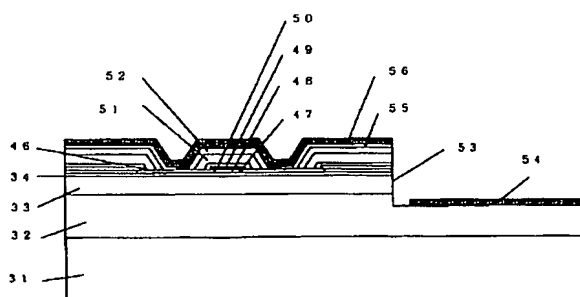
【図 1】



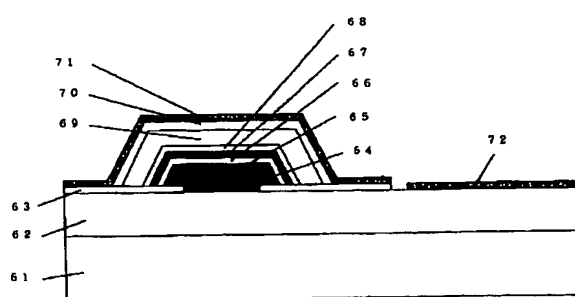
【図 2】



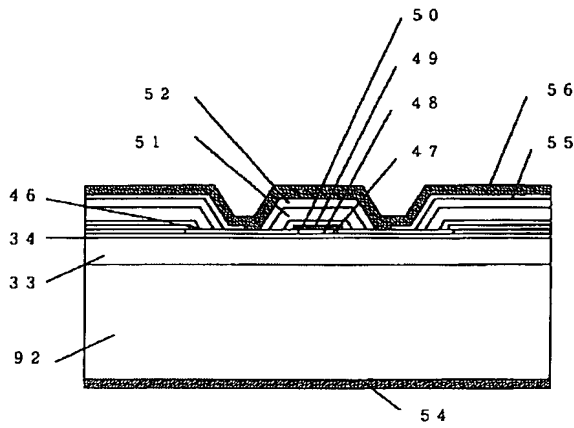
【図 3】



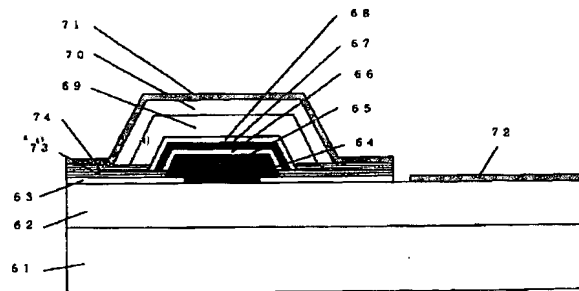
【図 5】



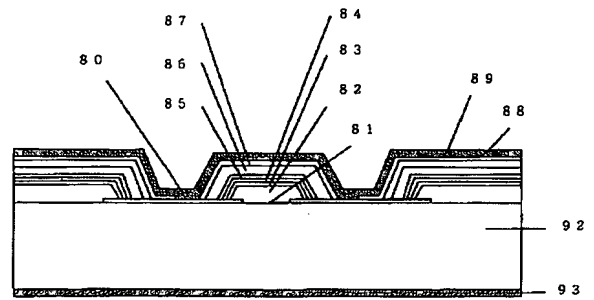
【図 4】



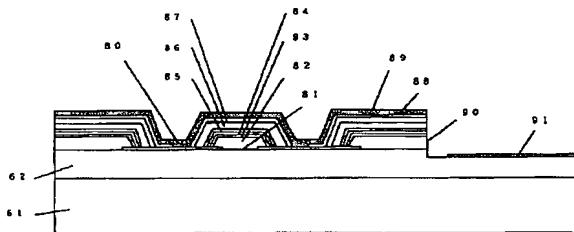
【図 6】



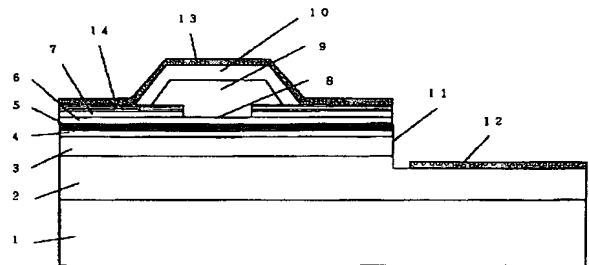
【図 8】



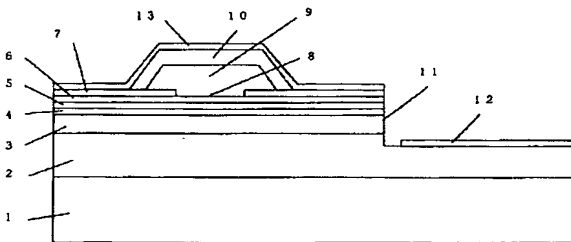
【図 7】



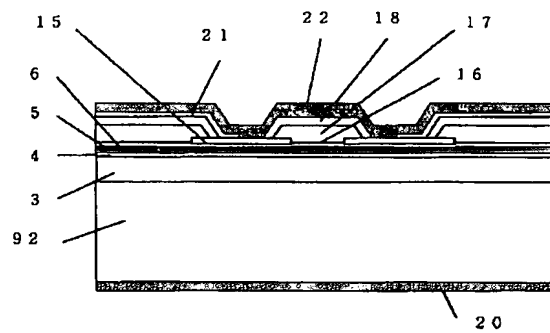
【図 10】



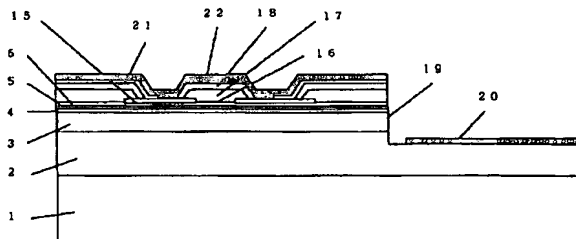
【図 9】



【図 12】

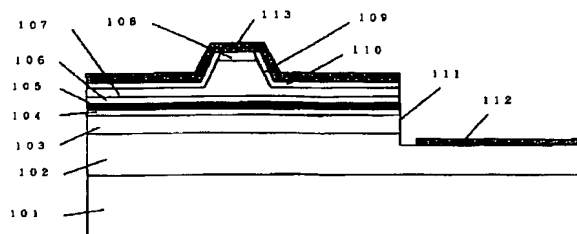


【図 11】

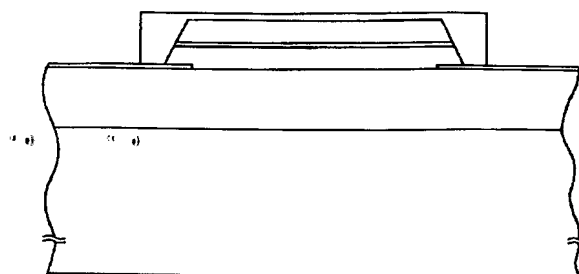




【図 13】



【図 14】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F041 AA03 AA24 CA04 CA05 CA34  
CA40 CA46  
5F045 AA04 AB14 AB17 AB18 AB32  
AB33 AF02 AF04 AF09 AF13  
AF20 BB16 CA10 CA12 DA55  
DA61 DB02  
5F073 AA07 AA13 AA22 AA45 AA61  
AA74 CA07 CA17 CB02 CB05  
EA23